

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zefektivnění výroby závitů ve firmě KOVOVÝROBA
HOFFMANN, s.r.o.

Efficient Thread Production in Company KOVOVÝROBA
HOFFMANN, s.r.o.

Student: Ladislav Miskovič

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student:

Ladislav Miskovič

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Zefektivnění výroby závitů ve firmě KOVOVÝROBA HOFFMANN,
s.r.o.
Efficient Thread Production in Company KOVOVÝROBA
HOFFMANN, s.r.o.

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor daného problému.
3. Návrh řešení dané problematiky.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě
16.5.2016

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2016

Miskovič
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Ladislav Miskovič

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Sadová 975, Uherské Hradiště 686 05

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MISKOVIČ, L. *Zefektivnění výroby závitů ve firmě KOVOVÝROBA HOFFMANN, s.r.o.: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 44 s. Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Hlavní zaměření této bakalářské práce je seznámení s výrobou vnitřních závitů. Teoretická část práce vytváří ucelený přehled jednotlivých druhů závitů, způsoby jejich výroby a kontroly. Praktická část proběhla ve spolupráci s firmou kovovýroba Hoffmann, s.r.o. Cílem bylo mezi sebou porovnat technologii řezání, tváření a frézování závitu. Proběhl proto pokus, který měl za úkol přispět ke zjištění finanční a časové náročnosti výroby mezi jednotlivými technologiemi. Získané hodnoty jsou uplatněny v závěrečném zhodnocení, které zobrazuje modelový příklad cenového rozdílu. Se zjištěnými údaji se bude v budoucnu dále pracovat při sledování trvanlivostí nástrojů.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MISKOVIČ, L. *Efficient Thread Production in Company KOVOVÝROBA HOFFMANN, s.r.o.: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, assembly and engineering metrology, 2016, 44 p. Thesis head: Kratochvíl, J.

The main goal of this thesis is to get acquainted with the production of internal threads. The theoretical part creates an integrated overview of the various types of threads, processes for their preparation and measurement. The practical part was carried in collaboration with kovovýroba Hoffmann, s.r.o. The goal was to compare cutting technology, forming technology and thread milling, among themselves. Therefore attempt was made, which was supposed to help determine the financial and time demands of production, between different technologies. The obtained values are applied in the final assessment, which shows a model example of the price difference. The observed data will be used in future for monitoring tools durability.

Obsah

Seznam zkratk a symbolů	9
1. Úvod.....	10
2. Základní definice závitů.....	11
3. Rozdělení závitů	12
3.1 Druhy závitů.....	13
3.1.1 Metrický závit.....	13
3.1.2 Whitworthův závit	13
3.1.3 Trubkový závit.....	14
3.1.4 Edisonův závit	14
3.1.5 Lichoběžníkový závit rovnoramenný	15
3.1.6 Lichoběžníkový závit nerovnoramenný	15
3.1.7 Oblý závit	16
4. Výroba vnitřních závitů	17
4.1 Řezání závitů závitníky	17
4.2 Frézování závitů	18
4.3 Soustružení závitů	18
4.4 Tváření závitů.....	19
5. Kontrola a měření závitů.....	20
5.1 Komplexní kontrola vnějšího závitu	20
5.1.1 Mezní závitový kroužek	20
5.1.2 Třmenový závitový kalibr	21
5.2 Komplexní kontrola vnitřního závitu	21
5.2.1 Závitový válečkový kalibr	21
5.3 Měření jednotlivých rozměrů vnějšího závitu.....	22
5.3.1 Velký průměr závitu	22
5.3.2 Střední průměr závitu	22

5.3.3	Rozteč	23
5.4	Měření jednotlivých rozměrů vnitřního závitu	23
5.4.1	Měření rozteče závitu	24
5.4.2	Kontrola vrcholového úhlu	24
5.4.3	Kontrola středního průměru	24
6.	Návrh praktické části	25
6.1	Polotovar	26
6.1	Upnutí polotovaru	27
6.2	CNC obráběcí stroj.....	27
6.3	Závitořezná bezpečnostní hlava	28
7.	Průběh výroby.....	30
7.1	Řezné podmínky.....	30
7.2	Vrtání otvorů	30
7.2.1	Zahloubení otvorů	32
7.3	Výroba závitů řzacím závitníkem.....	32
7.4	Výroba závitů tvářecím závitníkem	33
7.5	Výroba závitů závitovou frézou	34
8.	Vyhodnocení zkoušky.....	36
8.1	Kontrola závitů kalibrem.....	36
8.2	Ekonomické zhodnocení	36
8.2.1	Porovnání výrobních časů	37
8.2.2	Ceny nástrojů	38
8.2.3	Závěrečné zhodnocení	38
9.	Závěr	41
10.	Seznam použité literatury	43

Seznam zkratek a symbolů

Zkratky	Popis
R _m	Pevnost v tahu
R _e	Mez kluzu
A ₁₀	Tažnost
ČSN	Česká technická norma
CNC	Computer Numerical Control – počítačem řízený systém
M	Metrický závit
G	Trubkový závit
S	Lichoběžníkový závit nerovnoramenný
Tr	Lichoběžníkový závit rovnoramenný
Rd	Oblý závit
ot	Otáčky
kg	Kilogram
min	Minuta
s	Sekunda
h	Hodina
Mk	Morse kužel
VBD	Vyměnitelná břitová destička

1. Úvod

V dnešní době jsou závity neodmyslitelným spojovacím prvkem strojních součástí. Jejich využití nalezneme v každodenním životě. Díky snadné montáži i demontáži jsou závity skvělým řešením mnoha mechanismů, umožňují totiž snadnou vyměnitelnost poškozených, či opotřebovaných součástí.

Princip fungování závitů je založen na vytvoření šroubovitě drážky na vnější, nebo vnitřní válcovou plochu. Spojením získáme rozebíratelný spoj matice a šroubu. Existuje spousta způsobů výroby závitů, od klasického třískového obrábění přes tváření, až po nekonvenční metody, jakou je například elektro-erozivní obrábění. Přesné závity se dokončují broušením. Správné určení vyhovující metody výroby závisí na parametrech závitu, obráběném materiálu a funkci, jakou musí závitové spojení plnit.

Práce je zaměřena na druhy vnitřních závitů, způsoby jejich zhotovení a kontroly. Praktická část práce se zabývá porovnáním 3 způsobů výroby vnitřních závitových děr, ve spolupráci s firmou kovovýroba Hoffmann, s.r.o. Cílem je předběžně navrhnout optimální řešení hromadné výroby závitových děr.

2. Základní definice závitů

Závity jsou významné konstrukčně-technologické prvky spousty součástí, které slouží pro různé spojovací nebo pohybové funkce. Jednotlivé části závitů popisujeme několika základními definicemi (Tab. 2.1).

Důležité je dosáhnout vysoké přesnosti výroby, pro zajištění spolehlivosti a správné funkce závitů.

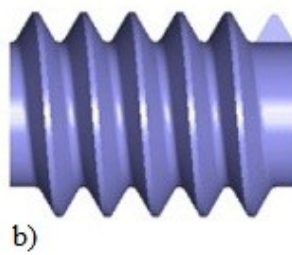
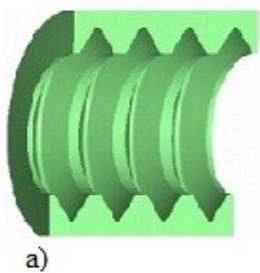
Tab. 2.1 Základní názvy a definice [5]

Název	Popis (definice)
Šroubovice	Dráha vytvořená na skutečné, nebo myšlené kuželové, nebo válcové ploše bodem pohybujícím se tak, že poměr mezi osovým posuvem a odpovídajícím úhlovým natočením ε je konstantní.
Šroubová plocha	Plocha tvořená křivkou (profilem závitu) ležící v osové rovině a pohybující se tak, aby všechny její body opisovaly šroubovice o stejném poměru α a ε .
Závitový vrchol	Materiál mezi částmi šroubové plochy jednoho závitu.
Závit	Povrch plochy vytvořené rovinnou čarou navinutou ve šroubovici na povrch válce nebo kužele.
Vnější závit	Závit vytvořený na vnější válcové nebo kuželové ploše.
Vnitřní závit	Závit vytvořený na vnitřní válcové nebo kuželové ploše.
Jednoduchý závit	Závit vytvořený jedním profilem
Několikachodý závit	Závit vytvořený dvěma, nebo několika profilem.
Pravý závit	Závit, jehož profil při pohledu podél osy při otáčení ve směru pohybu hodinových ručiček se vzdaluje od pozorovatele.
Levý závit	Závit, jehož profil při pohledu podél osy při otáčení proti směru pohybu hodinových ručiček se vzdaluje od pozorovatele.
Osa závitu	Osa válce nebo kužele, na němž je závit vytvořen.
Profil závitu	Obrys vrcholu závitu a závitové drážky v rovině osového řezu závitu.

3. Rozdělení závitů

Závity lze dělit podle několika základních kritérií, zde jsou uvedeny ty nejdůležitější:

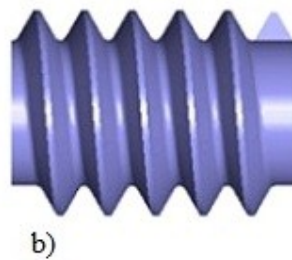
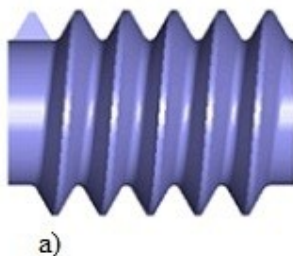
- Poloha závitu (Obr. 3.1)
 - Vnitřní (matice)
 - Vnější (šrouby)



Obr. 3.1 a) Vnitřní závit, b) vnější závit [4]

- Smysl vinutí závitu (Obr. 3.2)

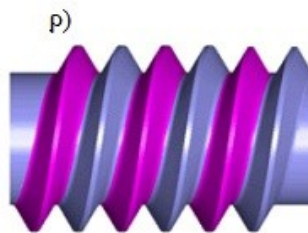
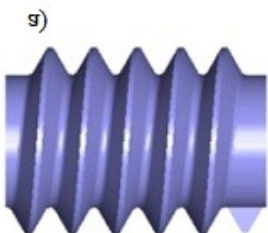
- Pravý
- Levý



Obr. 3.2 a) Levý závit, b) pravý závit [4]

- Počet navinutí na jedno stoupání (Obr. 3.3)

- Jednochodý
- Vícechodý



Obr. 3.3 a) Jednochodý závit, b) dvouchodý závit [4]

3.1 Druhy závitů

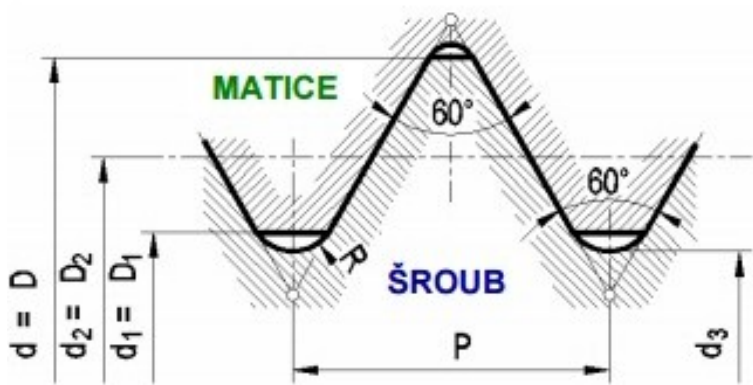
3.1.1 Metrický závit

Jedná se o nejběžnější druh závitu (Obr. 3.4). Označuje se písmenem M. Metrický závit se rozlišuje ve dvou normalizovaných řadách. S jemnou a hrubou roztečí. [12]

Využití nalezneme u běžných spojení matice – šroub, příklady použití závitu s jemnou roztečí můžou být situace, kdy je vyžadováno spojení s požadovanou větší samosvorností.

Příklad značení: **M12×0,75-6g**

- M – metrický závit
- 12 – velký průměr závitu v mm
- 0,75 – stoupání (rozteč) závitu v mm
- 6g – toleranční značka



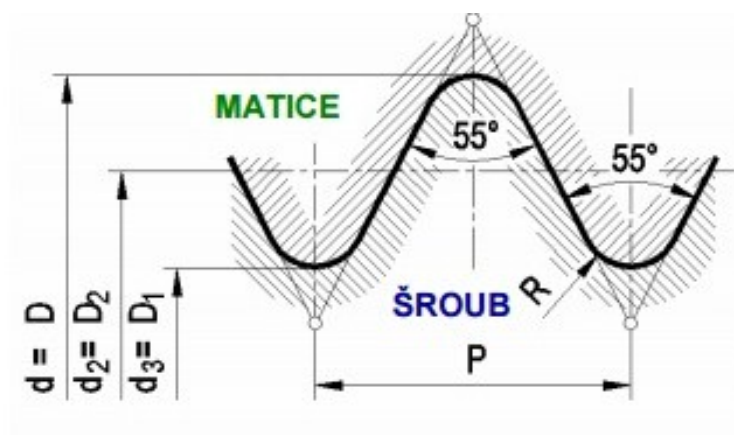
Obr. 3.4 Metrický závit [4]

3.1.2 Whitworthův závit

Whitworthův závit je označován písmenem W (Obr. 3.5). Na rozdíl od závitu metrického, je dán vrcholovým úhlem 55°. Byl hojně využíván zejména ve Velké Británii a Austrálii, ve 20. století ho v mnoha odvětvích nahradil závit metrický. Využívá se pro opravy strojů staršího provedení, či jako závit upevňovacího šroubu u pásů v automobilu. [12]

Příklad značení: **W 1/2"**

- W – Whitworthův závit
- 1/2" – velký průměr závitu v palcích



Obr. 3.5 Whitworthův závit [4]

3.1.3 Trubkový závit

Řadí se do mezinárodně normalizovaných závitů ke spojování trubek a armatur. Má stejný profil jako závit Whitworthův, jen je jemnější. Původní označení bylo udáváno v palcích, v současné době se jedná jen o technické značení.

Závit značíme písmenem G - pro spoje, kde těsnost není dosahována na závitech. U kuželového závitu pro spoje, kde je těsnost dosažena na závitu, použijeme písmeno R. [1]

Příklad značení: **G1 1/2 A**

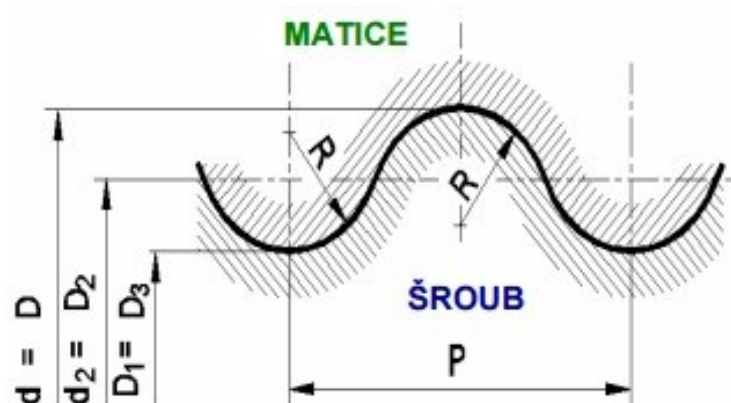
- G – trubkový závit
- 1 1/2" – velký průměr závitu v palcích
- A – třídy přesnosti

3.1.4 Edisonův závit

Jedná se o závit se zaobleným profilem, bez ostrých hran. (Obr. 3.6) V roce 1881 byl Edisonem použit na žárovce. Značí se písmenem E.

Příklad značení: **E 27**

- E – Edisonův závit
- 27 – velký průměr závitu v mm



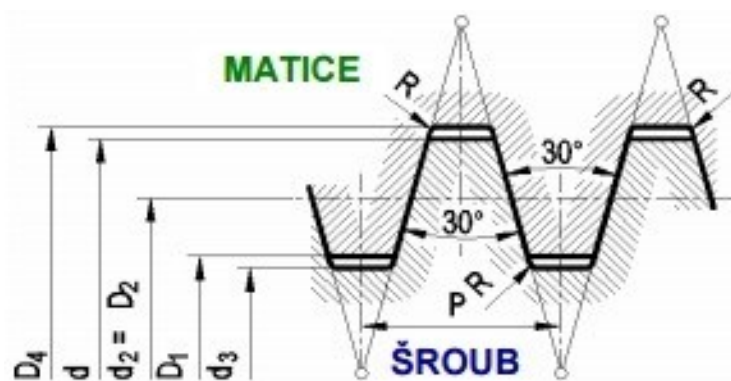
Obr. 3.6 Edisonův závit [4]

3.1.5 Lichoběžníkový závit rovnoramenný

Známý také pod názvem trapézový závit. Jeho profil je ve tvaru lichoběžníku (Obr. 3.7), využívá se zejména u pohybových šroubů a matic, je vhodný na přenášení velkých sil. Označujeme ho písmeny Tr. [12]

Příklad značení: **Tr 48×8**

- Tr – lichoběžníkový závit rovnoramenný
- 48 – velký průměr závitu v mm
- 8 – rozteč v mm



Obr. 3.7 Lichoběžníkový závit rovnoramenný [4]

3.1.6 Lichoběžníkový závit nerovnoramenný

Lichoběžníkový závit nerovnoramenný má podobné využití jako závit rovnoramenný. Jeho profil je ve tvaru nerovnoramenného lichoběžníku se skloněnou nosnou stranou závitu o 3° , tudíž snese velké silové zatížení pouze v jednom směru. Své využití nalezne např. u pohybových šroubů s rozdílným zatížením ve směru osy. [12]

Příklad značení: **S 48×8**

- S – lichoběžníkový závit nerovnoramenný
- 48 – velký průměr závitu v mm
- 8 – rozteč v mm

3.1.7 Oblý závit

Závit s výrazným zaoblením na vnějším i vnitřním průměru závitu s vrcholovým úhlem 30°. Je využíván v situacích, kdy jsou závitové spoje vystaveny agresivnímu prostředí, nebo zatížení rázy. [12]

Příklad značení: **Rd 32**

- Rd – závit oblý
- 32 – velký průměr závitu v mm

4. Výroba vnitřních závitů

Při výrobě závitů třískovým obráběním dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Vlastní proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu se nazývá řezání, resp. řezný proces. [2]

Technologii výroby závitů je možno rozdělit na:

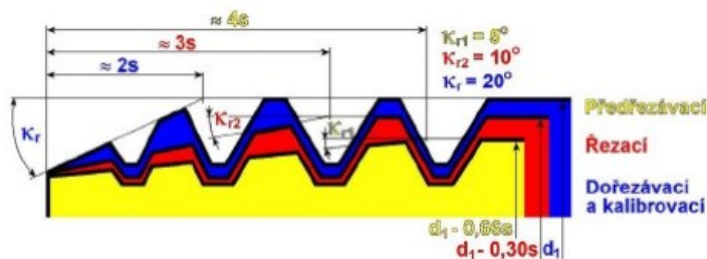
- Obrábění (nejrozšířenější způsob výroby závitů).
- Tváření (použito u tvárných materiálů).
- Lití a lisování v plastickém tvaru, je uplatňováno při lisování termosetů a termoplastů.

4.1 Řezání závitů závitníky

Výrobu závitů závitníky rozlišujeme na:

- **Ruční** – upevnění závitníku do vratidla, používají se dva, nebo tři závitníky tzv. sadové. První závitník před řezává, druhý řeže a třetí kalibruje.
- **Strojní** – na soustruzích a vrtačkách, používá se jeden závitník s krátkým řezným kuželem. Po velikost závitu M60 jsou závitníky se stopkou, u větších průměrů používáme závitníky nástrčné.

Pro strojní i ruční řezání vnitřních závitů se používají tzv. závitníky. Jsou vyráběny z rychlořezné oceli, nebo slinutých karbidů, a to povlakované i nepovlakované. Závitník je v podstatě šroub s náběhovým kuželem, ve kterém jsou vytvořeny břity jednou až osmi drážkami (Obr. 4.1). Potřebných řezných úhlů u břitů je dosaženo vhodným tvarem drážek a podbroušením. Výběr vhodného závitníku závisí na vlastnostech obráběného materiálu.[1]



Obr. 4.1 Tvar řezných kuželů ručních sadových závitníků [4]

4.2 Frézování závitů

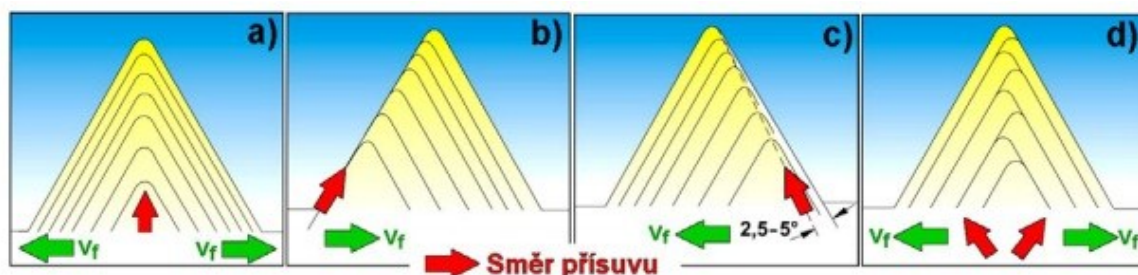
Jedná se o velice rozšířenou metodu, z důvodu velkého zavádění CNC strojů do výroby. Pro výrobu vnitřních závitů se používají stopkové závitové frézy. Pro závit musí být nejprve vyvrtán otvor, poté nástroj kruhovou interpolací vytvoří profil závitů. Mezi výhody patří možnost vytvoření závitů téměř do dna díry, či prodloužení životnosti vřetena stroje, oproti metodě tváření závitů závitníkem. Dále se pro frézování závitů používají tyto speciální metody:

- **Metoda BGF-** Operace, při které nástroj provede 3 pracovní operace, bez nutnosti výměny nástroje (vrtání, sražení hrany, frézování závitů). Ušetří se tím čas, potřebný na výměnu nástrojů.
- **Metoda ZBGF** – Nástroj vytváří závit kruhovou interpolací, bez nutnosti předchozího vyvrtání díry. Řezná kapalina je přiváděna vnitřně třemi, nebo čtyřmi drážkami. [1]

4.3 Soustružení závitů

Závity se soustruží na univerzálních, revolverových, poloautomatických a automatických soustruzích. Posuv nástroje na otáčku je roven stoupání soustruženého závitů. Pro soustružení vnějších i vnitřních závitů se používají speciální závitové nože, jejichž profil je odvozen z profilu řezaného závitů. Nože bývají celistvé, vyrobené z rychlořezné oceli, nebo s připájenou destičkou. Popř. s VBD mechanicky upnutou. Umožňují výrobu levých i pravých závitů.[1]

Závitové nože jsou buď jednodílné (radiální nebo kotoučové), nebo hřebenové (víceprofilové, prizmatické, nebo kotoučové). Jednodílným se řeže závit postupně na několik záběrů (Obr. 4.2), u hřebenových nožů jsou první profily zkoseny, takže umožňují vyřezat závit na jeden záběr. [1]

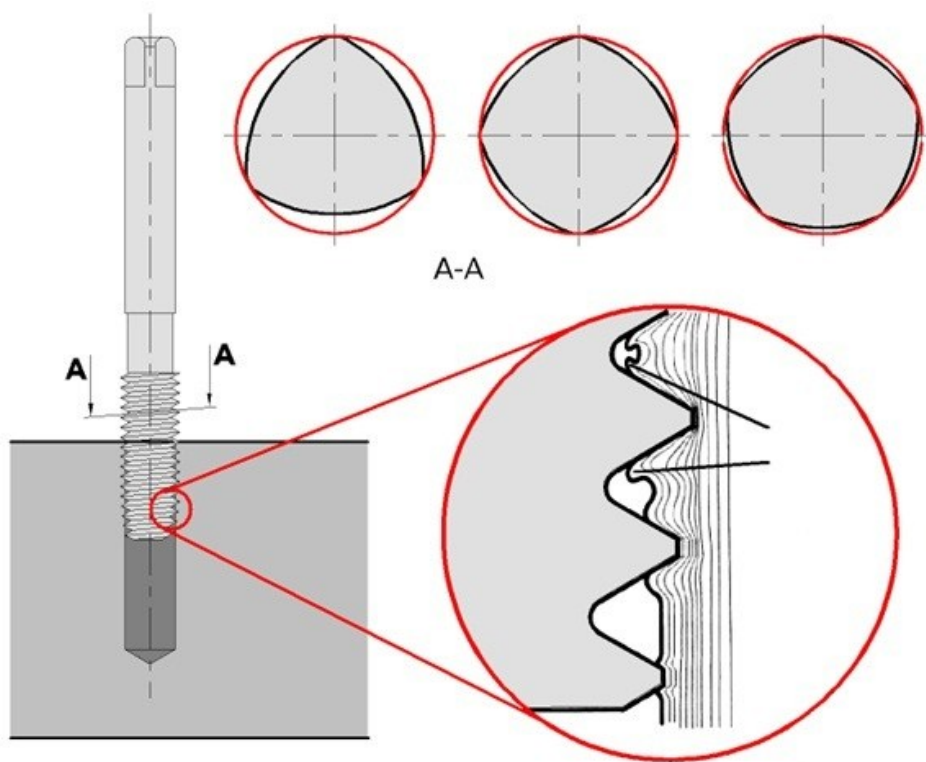


Obr. 4.2 Způsoby postupného soustružení závitů
Radiální přísuv, b) boční přísuv, c) boční přísuv s odklonem, d) střídavý přísuv [4]

4.4 Tváření závitů

Jedná se o nejpříjemnější způsob výroby závitů v sériové výrobě. Utváření závitů probíhá tvářecími závitníky (*Obr. 4.3*), v předvrtaných otvorech, bez oddělování třísek, což má velký význam zejména v případech, kdy nejsou ideální podmínky pro odchod třísek. Vyhnete se tak nebezpečí ucpání nástroje třískami a možnosti poškození závitu nebo nástroje. Hlavní výhodou tvářeného závitu je zvýšená pevnost z důvodu zhuštění materiálu.

Během tváření závitu vznikají mnohonásobně větší odpory než při řezání, proto je nutné zvolit vhodný řezný olej. Důležitým faktorem ovlivňující proces tváření je rychlost nástroje. Zpravidla by rychlost při tváření oceli neměla být menší než $10\text{--}15\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, u neželezných kovů poté platí, že by rychlost neměla klesnout pod $20\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. [3]



Obr. 4.3 Tváření závitu závitníkem [14]

5. Kontrola a měření závitů

U šroubů a matic jsou kladeny zvláštní požadavky na přesnost jejich výroby. Je vyžadováno, aby byl závit šroubu vytvořen bez radiální vůle, díky čemuž se závit šroubu bude dotýkat celou svojí plochou vnitřního závitu matice. Zamezí se tím možnost tzv. strhnutí závitu. [9]

Druhy kontroly:

- Komplexní kontrola (závit je posuzován jako celek, kontrolují se předepsané tolerance, skutečné rozměry nejsou hodnoceny).
- Dílčí kontrola (jednotlivé parametry závitu jsou kontrolovány samostatně).

Dále rozlišujeme kontrolu vnějších a vnitřních závitů.

5.1 Komplexní kontrola vnějšího závitu

Jedná se o způsob kontroly závitů využívaný hlavně při sériové výrobě. Využívají se hlavně mezní kalibry, které určí, zda je závit v pořádku, nebo zmetkový.

5.1.1 Mezní závitový kroužek

Závitové kroužky se obvykle vyhotovují v páru, s dobrým a zmetkovým závitem (Obr. 5.1). Během kontroly dobrým závitovým kroužkem, musí jít šroub lehce zašroubovat po celé své délce. U zmetkového kroužku je přípustné našroubovat šroub maximálně v rozsahu dvou otáček závitu. [11]



Obr. 5.1 Mezní závitové kroužky [9]

5.1.2 Třmenový závitový kalibr

Třmenové kalibry se používají hlavně u dlouhých závitů. Kalibr se dotýká závitu pouze ve dvou místech, je tedy možné rychle zkontrolovat šroub na několika místech. Ušetří se tím čas, který by byl potřebný k našroubování závitového kroužku. V třmenu kalibru je za sebou uspořádána dobrá a zmetková strana (Obr. 5.2). [11]



Obr. 5.2 Třmenový závitový kalibr [10]

5.2 Komplexní kontrola vnitřního závitu

5.2.1 Závitový válečkový kalibr

Závitové válečkové kalibry se používají pro kontrolu vnitřního profilu závitu. Kalibr obsahuje dobrou a zmetkovou stranu (Obr. 5.3). Dobrá závitová strana kalibru musí jít lehce našroubovat. Zmetková strana má zkrácený profil a musí jít našroubovat maximálně v rozsahu dvou otáček závitu. Kontrola kalibrem proběhla v praktické části bakalářské práce (kapitola 8.1).



Obr. 5.3 Závitový válečkový kalibr

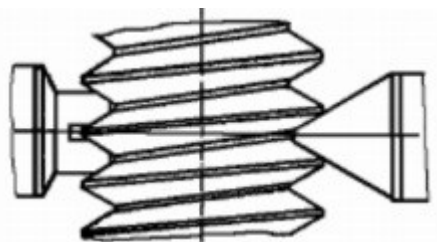
5.3 Měření jednotlivých rozměrů vnějšího závitu

5.3.1 Velký průměr závitu

K měření se používá hlavně posuvné měřidlo, nebo mikrometr.

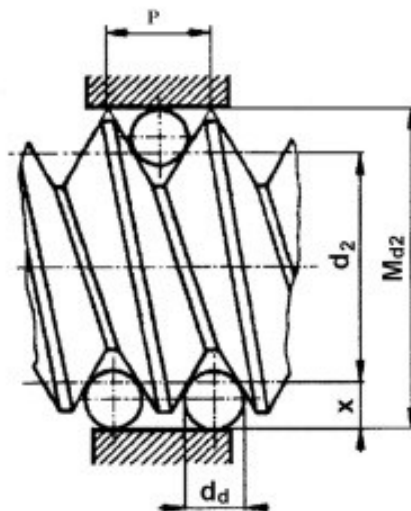
5.3.2 Střední průměr závitu

Střední průměr závitu se měří závitovým mikrometrem s vyměnitelnými měřícími dotyky (Obr. 5.4), které jsou určeny stoupáním a druhem závitu. Střední průměr se odečítá na bubínku mikrometru. [11]



Obr. 5.4 Vyměnitelné dotyky mikrometru [11]

Dalším způsobem měření středního průměru závitu je tzv. třídrátková metoda. K měření se používají válcové tyčinky přesného průměru, které jsou proti sobě vloženy do závitového profilu (Obr. 5.5). Poté se přes drátky mikrometrem naměří hodnoty, na jejich základě se vypočte odpovídající střední průměr, nebo se vyhledá v tabulce. [11]



Obr. 5.5 Měření středního průměru přes drátky [11]

Postup výpočtu pro třídrátkovou metodu [15]

- Pro danou rozteč P se vyberou drátky příslušného průměru d_d , průměr drátku se určí ze vztahu:

$$d_d = \frac{P}{2\cos(\alpha/2)}$$

- Délkovým měřidlem se změří rozměr přes drátky Md_2 , pro výpočet středního průměru d_2 platí:

$$d_2 = Md_2 + d_d \left(1 + \frac{1}{\frac{\sin \alpha}{2}} \right) - \frac{P}{2} \cot g \frac{\alpha}{2} - k_1 + k_2$$

k_1 – korekce zohledňující úhel stoupání šroubovice

k_2 – korekce zohledňující měřicí tlak

- Střední průměr závitu d_2 určíme ze vztahu:

$$d_2 = Md_2 - 2x$$

- Korekce k_1 , k_2 a hodnotu $2x$ nalezneme v tabulkách.

5.3.3 Rozteč

Podle požadované přesnosti se volí způsob měření. K měření rozteči se používají následující způsoby:

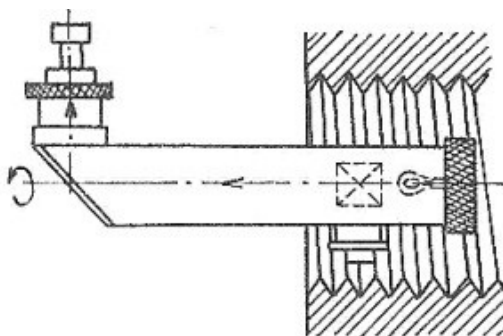
- Měření závitovými hřebenovými šablonami.
- Měření posuvným měřidlem.
- Měření základními měrkami rovnoběžnými.
- Měření mikroskopem.

5.4 Měření jednotlivých rozměrů vnitřního závitu

Měření parametrů vnitřních závitů má omezené možnosti, u malých závitů je často jedinou možností kontrola závitovým kalibrem.

5.4.1 Měření rozteče závitu

Měření rozteče vnitřních závitů lze provést na měřicím mikroskopu. Rozteč se vypočítá změřením délky odpovídající několika chodům závitu (Obr. 5.6). [11]



Obr. 5.6 Kontrola rozteče měřicím mikroskopem [11]

5.4.2 Kontrola vrcholového úhlu

Obvykle je přímá metoda měření obtížná, z toho důvodu se provádí nepřímá – otisková metoda. Měření proběhne na otisku kontrolovaného závitu. [11]

5.4.3 Kontrola středního průměru

Pro větší průměry se používají mikrometrické odpichy opatřené závitovými vložkami. Přesnější kontrolu lze provést na universálním délkoměru s nastavnými rameny. Pomocí koncových měrek a šablon se ramena nastaví na požadovaný rozměr a z tabulek se určí vzdálenost E . Na tuto vzdálenost se nastaví počáteční poloha dotyků, z čehož zjistíme střední průměr závitu. [11]

6. Návrh praktické části

Návrh praktické části bakalářské práce proběhl ve spolupráci s firmou kovovýroba HOFFMANN, s.r.o. Současný způsob zhotovení závitových děr ve firmě, pracuje hlavně s technologií strojního řezání závitníky. Obvykle se jedná o výrobu s menším počtem závitových děr na jeden díl. Výhodou této metody jsou relativně nízké pořizovací náklady nástrojů.

Z důvodu plánované výroby dvou upínacích desek, přičemž každá deska bude obsahovat stovky závitových děr (Obr. 6.1), bylo nutné zjistit, zda je dosavadní technologie výroby vyhovujícím řešením. Rozhodujícím faktorem pro rozhodování je v tomto případě rychlost zhotovení dílce v závislosti na finanční náročnosti. Byl proto navrhnut zkušební dílec, na kterém bylo plánováno každou technologií zhotovit 14 závitových děr.



Obr. 6.1 Polotovary pro plánovanou výrobu

6.1 Polotovar

Pro zkoušku byl zvolen materiál dle normy ČSN 11 523. Chemické složení je uvedeno v tabulce (Tab. 6.1).

Vlastnosti materiálu:

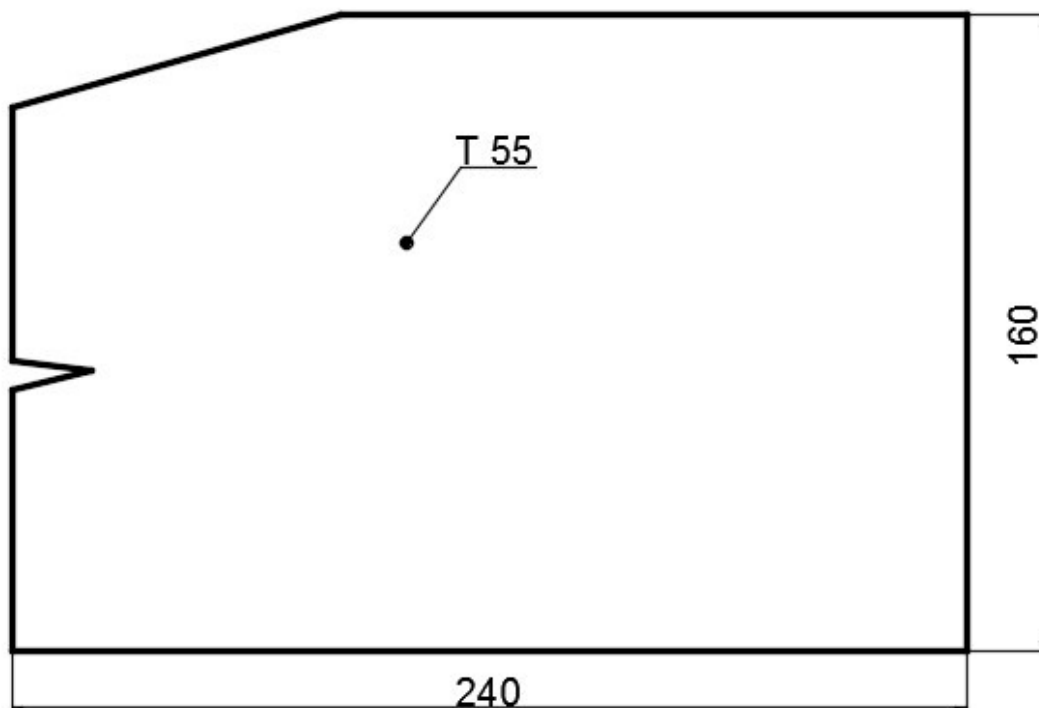
- R_m [Mpa]= 510-680
- R_e [Mpa]= min. 355
- A_{10} [%]= min. 22

Tab. 6.1 Chemické složení

Jakost	C	Si	Mn	P	S	N
11 523	0,2	0,55	1,6	0,04	0,04	0,009

Jedná se o konstrukční nelegovanou ocel vhodnou pro svařované konstrukce, ohýbané profily, součásti automobilů, strojů atd.

Polotovar byl vypálen plasmou ve firmě Hoffman s.r.o. Výhoda použité metody dělení materiálu spočívá v možnosti řezání tvarových výpalků s velkou řeznou rychlostí. Pro zkušební potřeby byl použit následující polotovar (Obr. 6.2).

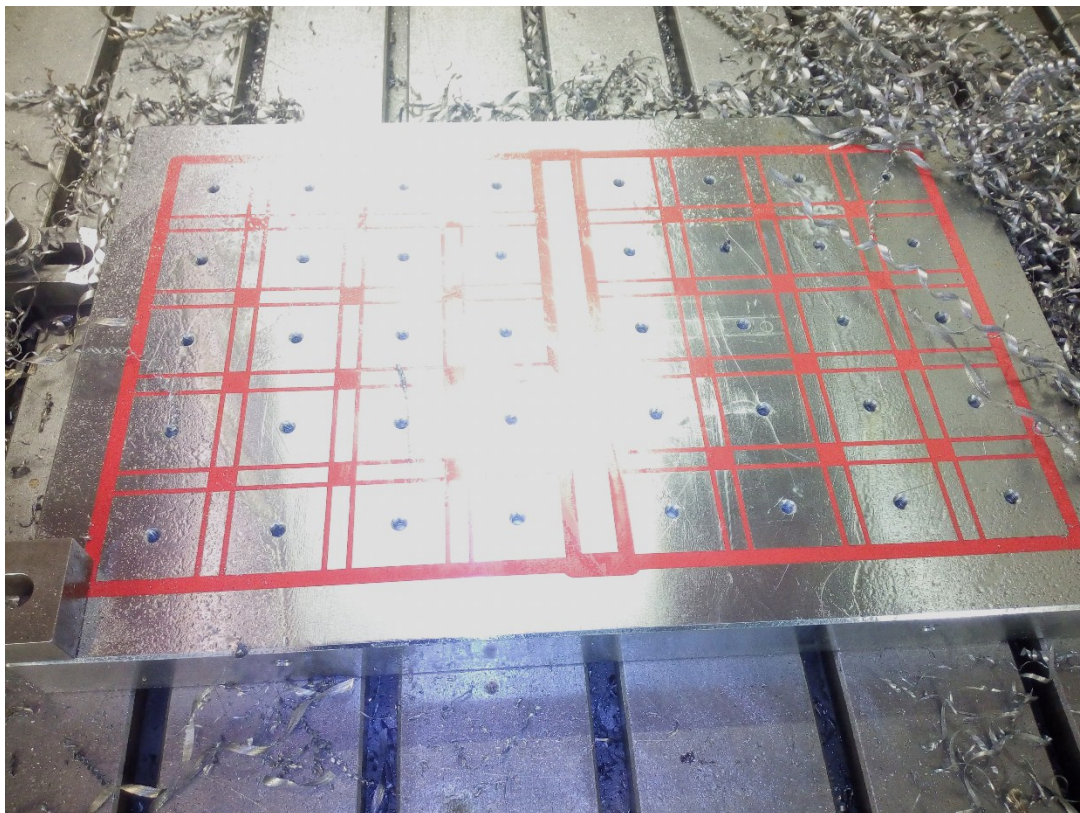


Obr. 6.2 Výkres polotovaru

6.1 Upnutí polotovaru

Upnutí polotovaru ve stroji zajistila magnetická deska firmy Magcentrum (Obr. 6.3).

Aplikace magnetického upínacího systému si zakládá na principu, usazení obrobku na plochu magnetické desky, který funguje jako mechanická referenční plocha, i upínací zóna zároveň. Upínací síla je rovnoměrně rozložena po celé kontaktní ploše, aniž by došlo ke stlačování nebo deformaci obrobku, přičemž obrobek zůstává plně přístupný k obrábění.[6]



Obr. 6.3 Magnetická upínací deska

6.2 CNC obráběcí stroj

Testování proběhlo na vertikálním frézovacím obráběcím centru VC 1110 firmy TRIMILL (Obr. 6.4). Jedná se o 3-osý stroj s tuhou konstrukcí, zkonstruovaný pro obrábění forem, zápustek a lisovacích nástrojů. Mezi další výhody se řadí vysoká produktivita výroby, zároveň při poměrně malém nároku na zastavěnou plochu. Stroj dosahuje konstantních výsledků obrábění díky rovnoměrnému termo-symetrickému vedení. V tabulce jsou uvedeny základní specifikace stroje (Tab. 6.2).

Tab. 6.2 Specifikace stroje [7]

Parametr	Jednotky	
Upínací plocha	[mm]	1300×1370
Pojezd v ose X	[mm]	1100
Pojezd v ose Y	[mm]	1000
Pojezd v ose Z	[mm]	700
Rychlost posuvu	[mm/min]	30000
Otáčky vřetena	[min ⁻¹]	14000
Upínací kužel		HSK - A80
Hmotnost obrobku	[kg]	8000
Hmotnost stroje cca.	[kg]	16000



Obr. 6.4 Obráběcí centrum VC 1110

6.3 Závitořezná bezpečnostní hlava

Závítníky byly upnuty v bezpečnostní závitořezné hlavě pro rychlovýměnné vložky velikost 2, Mk4 s rychlovýměnnou vložkou se spojkou pro M16 (Obr. 6.5).

Závitořezné hlavy se využívají na soustruzích, frézkách, vrtačkách apod. Stroj musí využívat zpětné otáčky vřetena pro vytáčení závitníků z otvorů. Bezpečnostní spojka chrání závitník při náhlém vzrůstu krouticího momentu. [13]



Obr. 6.5 Závitořezná hlava

7. Průběh výroby

Pro vytvoření požadovaných závitů bylo potřeba nejprve upnout polotovár a poté vyvrtat otvory určené pro dané závity. Hloubka závitů byla ve všech případech 40 mm (Obr. 7.3).

7.1 Řezné podmínky

Řezné podmínky byly stanoveny po konzultaci s technikem firmy z jeho znalostí firemní výroby (Tab. 7.1).

Tab. 7.1 Použité řezné podmínky

	Řezání závitníkem	Tváření závitníkem	Frézování závitovou frézou
Otáčky při navrtání [min^{-1}]	800	800	800
Řezná rychlost při navrtávání [m/min]	25,13	25,13	25,13
Otáčky vrtáků [min^{-1}]	350	350	350
Řezná rychlost při vrtání [m/min]	15,17	16,60	15,17
Otáčky záhlubníku [min^{-1}]	150	150	150
Otáčky nástrojů na tvorbu závitu [min^{-1}]	350	240	2500
Řezná rychlost při tvorbě závitů [m/min]	17,59	12,06	125,66
Posuv navrtání [mm/min]	200	200	200
Posuv vrtáků [mm/min]	50	50	50
Posuv záhlubníku [mm/min]	120	120	120
Posuv nástrojů na tvorbu závitů [mm/min]	-	-	450

7.2 Vrtání otvorů

Při vrtání otvorů byly použity 2 různé průměry vrtáků. Průměr předvrtaného otvoru pro technologii tváření závitů se liší od průměru pro technologii řezání závitů. Z tabulek byly určeny následující průměry (Tab. 7.2). Hloubka vyvrtaných děr byla 45 mm viz. (Obr. 7.3).

Tab. 7.2 Průměry děr

Technologie	Řezání závitníkem	Tváření závitníkem	Frézování závitovou frézou
Průměr díry [mm]	13,8	15,1	13,8

Před samotným vrtání proběhlo navrtání do hloubky 2mm, z důvodu snadného navedení vrtáku. Použit k tomu byl zbroušený vrták o průměru 10 mm.

Během vrtání docházelo k namotávání spirálovitých třísek na nástroj, které se musely manuálně odstraňovat, což znamenalo přerušení vrtacího cyklu. Tento jev výrazně prodlužoval čas a tím negativně ovlivňoval efektivitu výroby. Bylo proto nutné zvolit menší délku jednoho řezného záběru vrtáku. Docílilo se tím zkrácení třísek, díky čemuž začalo docházet k jejich přirozenému zalamování (Obr. 7.1). Chlazení nástroje a odvod třísek zajišťovala procesní kapalina na bázi oleje a vody.



Obr. 7.1 Vyvrtané otvory

Použité nástroje:

- Vrták s válcovou stopkou – střední řada HSS, DIN 338 – ‚Z‘, 221121, 13,8 mm (Obr. 7.2)
- Vrták GUHRING – DIN 338 – ‚N‘, 15,10mm

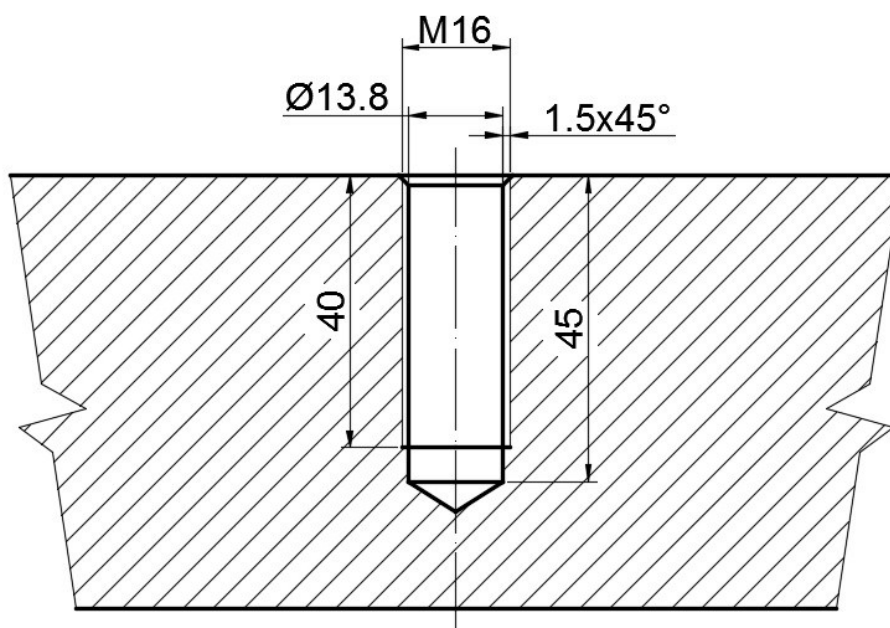


Obr. 7.2 Vrták Ø 13,8mm

7.2.1 Zhloubení otvorů

Pro snadnější zařezání závitníku bylo nutné otvory zhloubit (Obr. 7.3). Využit byl stejný program jako při navrtání.

Velikost zhloubení: 1,5×45°



Obr. 7.3 Velikost zhloubení

7.3 Výroba závitů řezacím závitníkem

Na řezání a tváření závitů závitníky není potřeba volit posuv (Tab. 7.3). Ten je vypočítán strojem dle stoupání závitu. Řezná hlava stroje pracuje s konstantními otáčkami, po vytvoření závitu stroj zařadí reverzní otáčky a závitník vytočí zpět. Při řezání závitů do slepých otvorů je nutné, aby byla předvrtaná díra delší, než požadovaná délka závitu.

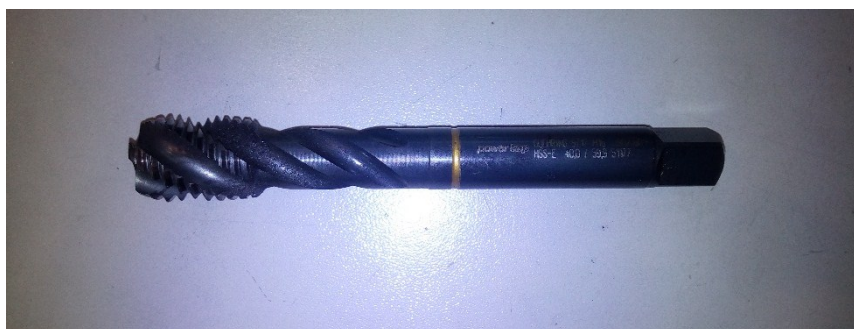
Řezné podmínky:

Tab. 7.3 Řezné podmínky pro řezací závitník

Otáčky [min^{-1}]	Řezná rychlost [m/min]	Posuv [mm/min]
350	17,59	-

Použité nástroje:

- Řezací závitník GUHRING 5717 M16 ISO 2/6H, HSS-E (Obr. 7.4)



Obr. 7.4 Řezací závitník GUHRING M16

7.4 Výroba závitů tvářecím závitníkem

Během výroby závitů je potřeba závitníky mazat. Zejména při tváření závitů vznikají mnohem větší odpory, než při řezání a převládá zde potřeba snižování tření, nad potřebou chlazení. Výběr správného maziva je závislý na zvoleném materiálu obrobku. V našem případě byl použit řezný a vrtací olej Tectane (olej vyvinut pro řezání závitů, frézování, vrtání, lisování a řezání pilou). Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 7.4).

Řezné podmínky:

Tab. 7.4 Řezné podmínky pro tvářecí závitník

Otáčky [min^{-1}]	Řezná rychlost [m/min]	Posuv [mm/min]
240	12,06	-

Při tváření závitů došlo k vypadnutí závitořezné hlavy z Morse kuželu a ke zlomení závitníku. Příčinou byla nejspíše nečistota v Morse kuželu, což znemožnilo správnou samosvornost a vlivem nedostatečného tření hlava vypadla (Obr. 7.5). Tváření byly zhotoveny pouze 4 závity.



Obr. 7.5 Zlomený tvářecí závitník

Použité nástroje:

- Tvářecí závitník GUHRING M16×2, HSS-E, norma DIN 376 (Obr. 7.6)



Obr. 7.6 Tvářecí závitník GUHRING M16

7.5 Výroba závitů závitovou frézou

Nespornou výhodou měla metoda frézování závitů. Díky způsobu obrábění kruhovou interpolací nástroje je možné drobně upravovat průměr závitu. Během prvního pokusu bylo

kalibrem zjištěno, že vytvořené závity mají malý, nevyhovující průměr. V programu stroje bylo proto přidáno 0,2 mm na průměru závitu a výrobní proces se pustil znova. Tabulka zobrazuje použité řezné podmínky (Tab. 7.5).

Řezné podmínky:

Tab. 7.5 Řezné podmínky pro závitovou frézu

Otáčky [min^{-1}]	Řezná rychlost [m/min]	Posuv [mm/min]
2500	125,66	450

Použité nástroje:

- Závitová fréza M16 D12 L50/110 Z4, ISO M/MF, P2 (Obr. 7.7)



Obr. 7.7 Závitová fréza M16

8. Vyhodnocení zkoušky

8.1 Kontrola závitů kalibrem

Zhotovené závity byly zkontrolovány oboustranným závitovým kalibrem M16 6H – ČSN 254020 (Obr. 8.1). V potaz byla brána tuhost při šroubování dobré porovnávací strany kalibru. Nejlépe přitom dopadly závity vytvořené frézováním, ale podmínky kontroly kalibrem, tedy nemožnost zašroubování zmetkové strany kalibru, splnily všechny závity. Avšak při závěrečném hodnocení budou hodnoceny jen závity vytvořeny řezáním závitníkem a frézováním závitovou frézou, tvářecí závitník se z důvodu nedokončení všech 14 děr vylučuje.



Obr. 8.1 Oboustranný závitový kalibr M16

8.2 Ekonomické zhodnocení

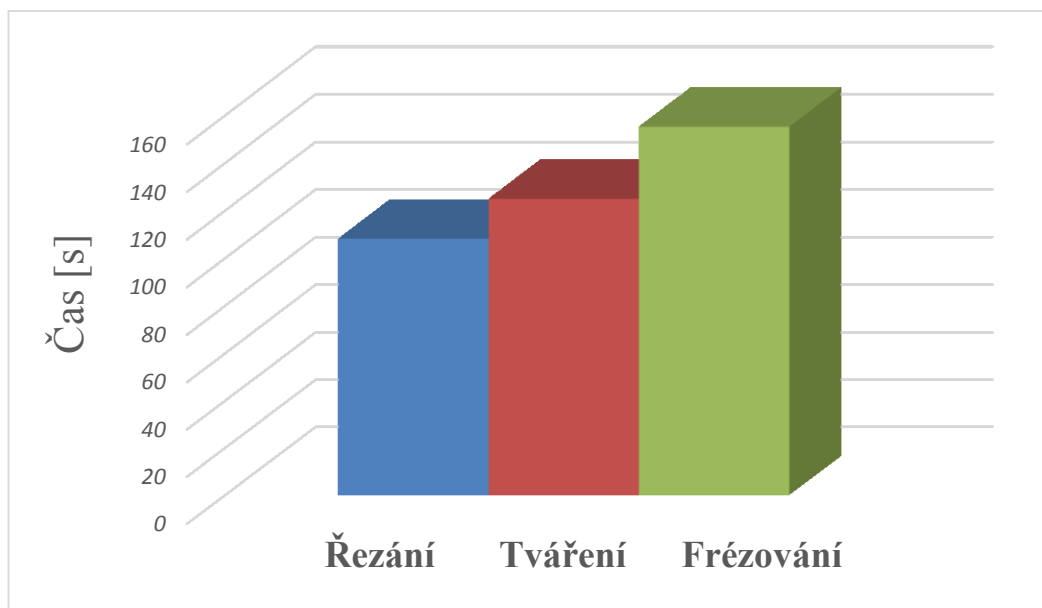
Vzhledem k rozsahu plánované výroby je nutné zhodnotit ekonomickou náročnost. Ta zahrnuje porovnání výrobních časů jednotlivých závitů a srovnání cen použitých nástrojů. Během testování se nehodnotila trvanlivost nástroje, která bude sledována během dalších výrobních procesů ve firmě.

8.2.1 Porovnání výrobních časů

Všechny strojní časy byly měřeny z důvodu zjištění časové náročnosti. Naměřené hodnoty vyjadřují průměrný strojní čas, potřebný pro výrobu jednoho závitu. Hodnoty v sekundách jsou zaneseny do tabulky (Tab. 8.1) a zobrazeny v grafu (Obr. 8.2).

Tab. 8.1 Časová náročnost výroby děr

	Řezání závitníkem	Tváření závitníkem	Závitová fréza
Čas navrtání [s]	7,07	7,07	7,07
Čas vrtání [s]	81,64	95,71	81,64
Čas zahloubení [s]	8,32	8,96	8,32
Čas tvorby závitu [s]	11	13	58
Celkový strojní čas [s]	<u>108,03</u>	<u>124,74</u>	<u>155,03</u>



Obr. 8.2 Porovnání celkových strojních časů

Z grafu je patrné, že časově nejvýhodnější je metoda řezání závitů (průměrný čas 108,03 s), druhá se umístila metoda tváření (průměrný čas 124,74 s), a časově nejhůř vyšla metoda frézováním (průměrný čas 155,03 s).

8.2.2 Ceny nástrojů

V tabulce je uvedeno porovnání cen použitých vrtáků a závitníků (Tab. 8.2).

Tab. 8.2 Porovnání cen nástrojů

	Řezání závitníkem	Tváření závitníkem	Závitová fréza
cena vrtáku [Kč]	295	340	295
Cena Závitníku [Kč]	780	1300	4480

Cenově nejlépe vyšly nástroje metody řezání závitů závitníkem.

8.2.3 Závěrečné zhodnocení

Z předešlých tabulek vychází časově i cenově nejlépe metoda řezání závitníkem. Není zde ale zahrnuta trvanlivost nástroje, která se může výrazně lišit.

Cílem zhodnocení není určit přesné náklady výroby, ale zjistit přibližné porovnání cenových rozdílů. Následující příklad zobrazuje odhadovaný finanční rozdíl výroby 1000 závitových děr, při použití pouze jednoho závitového nástroje, bez ohledu na jeho trvanlivost. Žádný z nástrojů nevykazoval známky opotřebení po vytvoření 14 závitů, pouze u tvářecího závitníku došlo k jeho zlomení, proto se ze závěrečného zhodnocení vylučuje. Porovnání probíhá pouze mezi řezacím závitníkem a závitovou frézou. Jedná se o modelový příklad, kdy se závěrečná reálná cena výroby může lišit, v závislosti na hodinové sazbě stroje a na mzdě operátora stroje. V našem případě počítáme s hodinovou sazbou stroje 1200 Kč a hodinovou mzdou pracovníka 150 Kč. Způsob upnutí obrobku a nástrojů je v obou případech obdobný, proto časový rozdíl není uveden ve výpočtu. Výsledné hodnoty jsou vypsány v tabulce (Tab. 8.3) a zobrazeny v grafu (Obr. 8.3).

Příklad výpočtu času pro výrobu pro 100 závitů:

$$t_{100} = 100 / \left(\frac{3600}{t_s} \right) + t_n$$

t_{100} – celkový čas výroby 100 závitových děr [h]

t_s – strojní čas [s]

t_n – čas výměny nástrojů během výroby 100 závitů

Jelikož neznáme trvanlivosti nástrojů, nemůžeme určit, kolik času bude potřeba na jejich výměnu. V našem případě počítáme s jedním nástrojem, proto se čas výměny nástrojů neprojeví ve výpočtu.

Příklad výpočtu ceny výroby pro 100 závitů:

$$N = N_n + (t_{100} * (\text{hodinová sazba stroje} + \text{hodinová mzda pracovníka}))$$

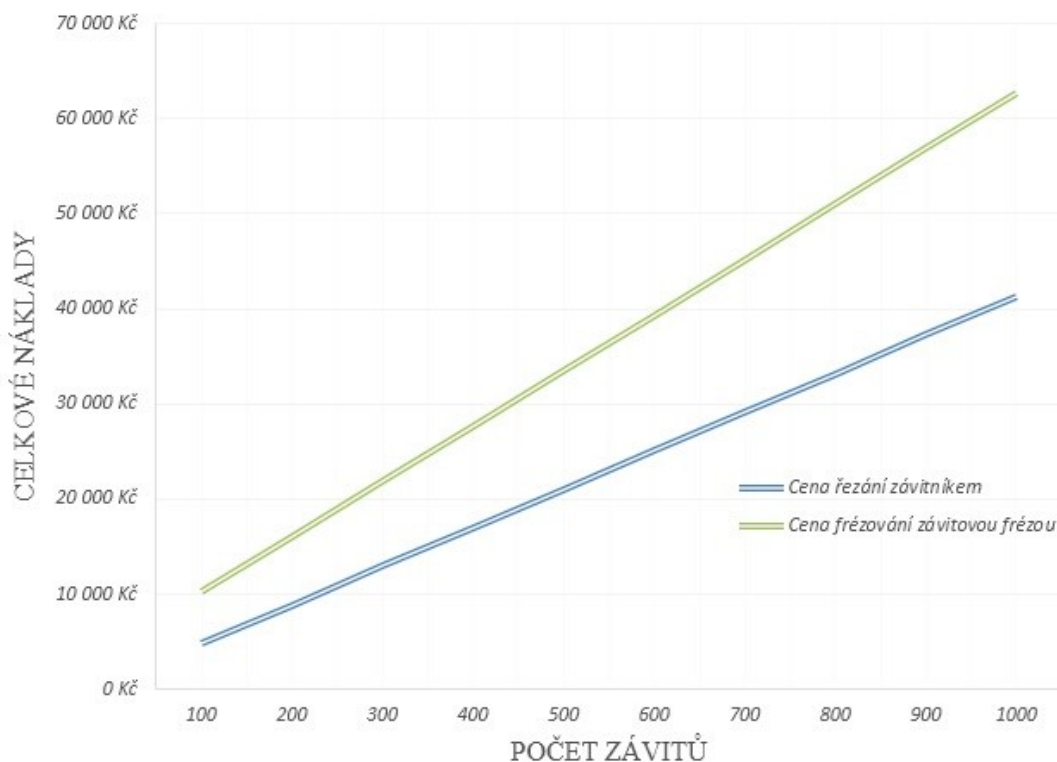
N – cena výroby 100 závitů

N_n – náklady na nástroj

Opět pro přesné určení nákladů na nástroj je potřeba znát jejich trvanlivost.

Tab. 8.3 Finanční náročnost

Počet závitů	Čas řezání závitníkem[h]	Čas závitová fréza [h]	Cena řezání závitníkem	Cena frézování závitovou frézou
100	3,00	4,31	4 831 Kč	10 294 Kč
200	6,00	8,61	8 882 Kč	16 107 Kč
300	9,00	12,92	12 933 Kč	21 921 Kč
400	12,00	17,23	16 985 Kč	27 735 Kč
500	15,00	21,53	21 036 Kč	33 548 Kč
600	18,01	25,84	25 087 Kč	39 362 Kč
700	21,01	30,14	29 138 Kč	45 175 Kč
800	24,01	34,45	33 189 Kč	50 989 Kč
900	27,01	38,76	37 240 Kč	56 803 Kč
1000	30,01	43,06	41 291 Kč	62 616 Kč



Obr. 8.3 Graf finanční náročnosti

Z grafu vyplývá, že mnohem výhodnější bude vytvářet závity metodou řezání závitníkem. I když ve výpočtu není zahrnutý čas a náklady spojené s výměnou nástrojů, cenový rozdíl je z důvodu mnohem menších strojních časů u metody řezání závitu, propastně velký.

9. Závěr

Bakalářská práce se zabývá výrobou vnitřních závitů ve strojírenské praxi. Už dlouho dochází k inovacím této technologie. Zavádění sériové výroby pomohlo k rozšíření strojní výroby závitů, což s sebou nese řadu výhod. U strojní výroby závitů leží osy nástrojů přesně na ose vyvrtaných děr, je tak zajištěna kolmost závitu, kterou musíme během ruční výroby kontrolovat. Vzhledem k velkým řezným rychlostem také dosahuje strojní řezání kratších výrobních časů.

V praktické části bakalářské práce proběhlo porovnání strojní výroby závitů mezi 3 technologiemi. Výsledky vychází z výroby 14 děr pro každou technologii. Během výroby zkušebního dílce byly zaznamenány jednotlivé strojní časy. Z těch se přibližně určila časová náročnost výroby jednotlivých technologií, z nichž řezání závitu závitníkem dopadlo nejlépe a frézování závitovou frézou nejhůře. To se dále projevilo i ve finanční náročnosti, kdy se cenový rozdíl s rostoucím časem výroby neustále zvětšoval. Zanedbatelný není ani rozdíl v ceně řezacího závitníku a závitové frézy, jež činí 3180 Kč. Tvářecí závitník musel být ze závěrečného hodnocení vyloučen, z důvodu nedokončení testu.

Je složité porovnat technologie výroby závitů v rámci jednoho experimentu. Pro úplné vyhodnocení porovnávaných metod je potřeba znát trvanlivost nástrojů, ta bude sledována během výroby upínacích desek. Výsledky by mohly být v budoucnu využity jako podklad pro další téma závěrečné práce.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za jeho cenné rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. Zároveň děkuji panu Ing. Vojtěchu Hrbáčkovi a všem zaměstnancům kovovýroby Hoffmann, s.r.o. za jejich ochotu a pomoc zrealizovat praktickou část bakalářské práce.

10. Seznam použité literatury

- [1] HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 2. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 95 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [2] KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] Výroba vnitřních závitů tvářením. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 s. 28 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vnitrnich-zavitu-tvarenim.html>
- [4] LINKEOVÁ, Ivana a František NOVÁK. *Výkresová dokumentace elektromechanických prvků a spojů* [online]. 2004 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://www.linkeova.cz/skripta/pdf/06_spoje.pdf
- [5] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
- [6] Magnetické upínání MAG Centrum. *Magcentrum* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: http://www.magcentrum.cz/tl_files/magcentrum/DATA/pdf/Magneticke_upinani_MAG_Centrum.pdf
- [7] Vertikální obráběcí centra. *TRIMILL machine tools* [online]. [cit. 2016-05-2]. Dostupné z: <http://www.trimill.cz/produkty/vertikalni-obrabeci-centra/3-osa/vc-1110-1/>
- [8] Třídy oceli. *Lentus-ocel* [online]. [cit. 2016-05-5]. Dostupné z: <http://www.lentus-ocel.cz/tridy-oceli/115231-nelegovana-konstrukcni-ocel.htm>
- [9] Měření a kontrola závitů. *Střední škola strojírenská a elektrotechnická* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/mereni_a_kontrola_zavitu.pdf
- [10] Elektronická učebnice. *Střední škola strojírenská a elektrotechnická* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1893>
- [11] Měření závitů. *Spš-Vitkovice* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/KOM/KOM_3_12_SPU-mereni_zavitu.pdf

- [12] Druhy závitů. *SŠPU Opava* [online]. 2012 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablon/SPS_II/VY_32_INOVACE_C-07-02.pdf
- [13] Závitořezné hlavy bezpečnostní. *NAREXMTE* [online]. [cit. 2016-05-1]. Dostupné z: http://www.narexmte.cz/servis/Zhb_navod_CJ_u.pdf
- [14] Tváření závitů. *Závitování* [online]. [cit. 2016-05-5]. Dostupné z: <http://www.zavitovani.cz/vyroba-vnitrich-zavitu/tvareni-zavitu>
- [15] TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie část 1. In: *Elektronické učebnice* [online]. 2004 [cit. 2016-05-5]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>